

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS AKTUÁLIS GLOBÁLIS ÉS HAZAI FEJLEMÉNYEI

MIKA JÁNOS

Eszterházy Károly Egyetem, Földrajz és Környezettudományi Intézet, Környezettudományi és Tájökológiai Tanszék

Absztrakt

A jelen tanulmány mintegy kiegészítése annak a fél évvel ezelőtti tanulmánynak (Mika, 2018), ami az energiahasználat és a klímaváltozás hazai és nemzetközi fejleményeit összegezte. Az ott szereplő ábrákat és megállapításokat e tanulmányban nem ismételjük meg. A bemutatott eredmények három részre bonthatók. (i) A globális adatok közül a CO_2 és a metán esetében mutatjuk be a változást. A globális átlaghőmérséklet 2014 óta jelentősen emelkedett, részben a 2015-2016-os erős El-Nino jelenség miatt, míg a század első évtizedéről újabb elemzések igazolták, hogy sokkal lassabban melegedett a vártnál. (ii) Az IPCC legújabb Tematikus Jelentése azzal foglalkozik, hogy miként lehetne 1,5 Celsius fokon tartani a globális felmelegedést, vagy legalább oda visszahozni és miben különbözne ez a klíma attól, mintha az éghajlat stabilizálását csak 2 °C-nál érnénk el. (iii) Végül, a hazai újdonságok között bemutatjuk az üvegházgáz kibocsátás csökkenését, a GDP ezzel párhuzamos növekedése ellenére, illetve megfigyelések alapján hogyan alakult a hőmérséklet és a csapadék, illetve mit mondanak a legújabb hazai modell-futtatások.

Kulcsszók: CO_2 -kibocsátás, éghajlatváltozás, globális melegedési hiány, IPCC SR15, Magyarország

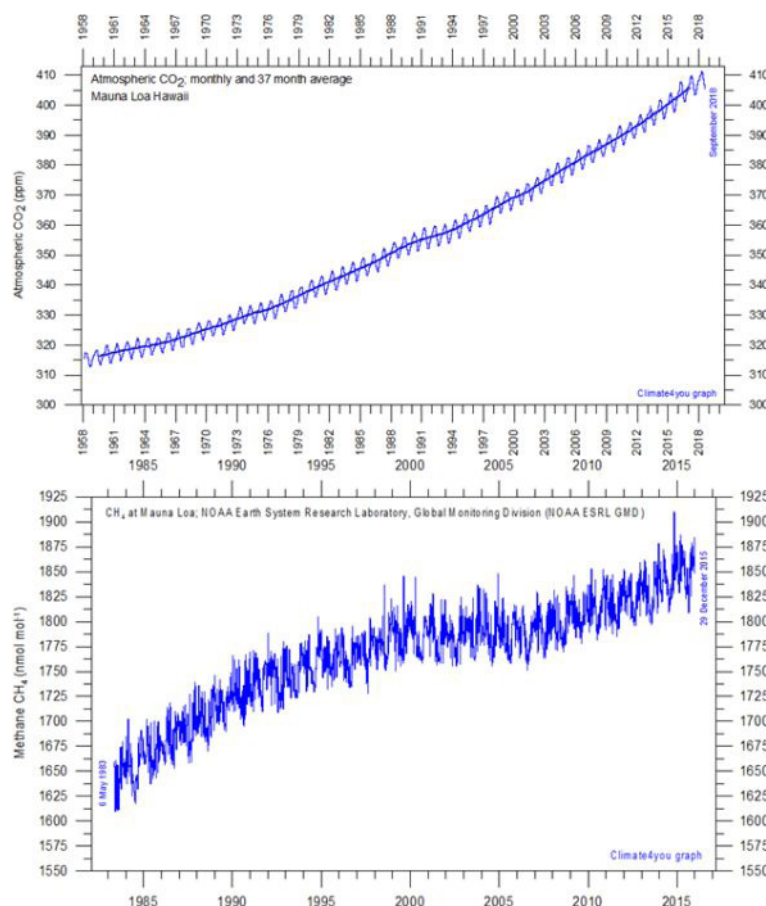
1. Bevezetés

Alig fél éve összefoglaltuk a klímaváltozás néhány újdonságát (Mika, 2018) és részletesen ismertettük az USA Energia Információs Kormányzata legújabb összesítését (US EIA, 2017) a világ eddigi és 2030-ig terjedő energiaigényéről és annak 2040-ig várható alakulásáról. Megállapítottuk, hogy egyenletesen növekvő energia-igénnyel kel számolnunk, ami valószínűsíti az üvegházgáz kibocsátás további emelkedését.

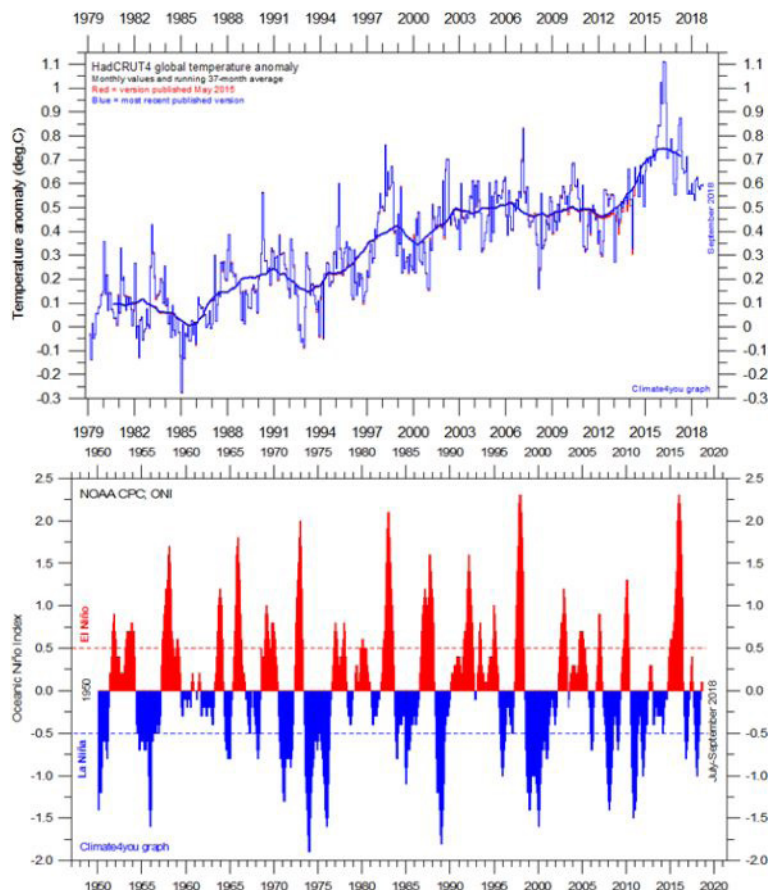
Ennek részben ellentmond, hogy 2014 és 2016 között lényegében nem emelkedett a CO_2 globális kibocsátása (Le Quéré et al., 2017), noha a 2017-re előzetesen számított értékek ismét 2 %-os növekedést mutatnak.

Mika (2018) illusztrálta, hogy 2014-től újra jelentős ütemben emelkedett bolygónk átlagos hőmérséklete. Ezt a vonatkozást, benne a globális melegedési hiány újabb értékelését a jelen cikkben újabb források alapján ismét elemezzük.

Változatos tartalmakat vehettünk át az Európai Környezeti Ügynökség összefoglalójából (EEA, 2017) illetve az USA Nemzeti Jelentéséből (USGCRP, 2017) is. A hazai kutatásokat Mika (2018) korábbi tanulmányában a hazai energiahasználat és CO_2 -kibocsátás adatai képviselték a KSH (2017) adatai alapján.



1. ábra: A szén-dioxid (CO_2 , felül) és a metán (CH_4 , alul) koncentrációjának alakulása a Hawaii szigeti Mauna Loa állomáson (Forrás: <http://www.climate4you.com/>)



2. ábra: A globális átlaghőmérséklet (felül) és az ún. El-Niño index (alul) alakulása. A két ábra időtengelyén más-más időszak látható, amit a felső ábra zsugorításával próbáltunk kiküszöbölni (Forrás: <http://www.climate4you.com/>)

A jelen tanulmány a fenti források szintén aktuális eredményeitől nagyrészt független illusztrációkat tartalmaz, míg az előadásban a két tanulmány adatait együtt mutatjuk be.

2. Megfigyelt globális változások

Üvegház-gáz koncentrációk

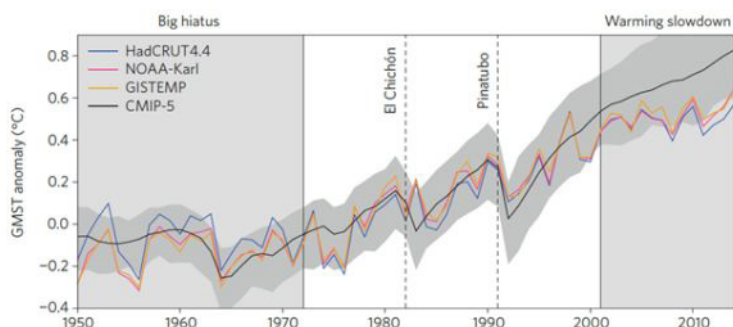
Elsőként lássuk, miként alakult a szén-dioxid koncentrációja az első és leghíresebb állomáson, Mauna Loan (1. ábra, fenn). A 2018 szeptemberéig futó idősor továbbra is emelkedik. Ez arra utal, hogy a kibocsátás stagnálása messze nem vezet a koncentrációk állandósulásához, hiszen az óceánok és a bioszféra csak sokkal kevesebb CO_2 elnyelésére képes.

A második legerősebb üvegház-gáz a metán, amelynek alakulását szintén Hawaii szigetén az 1. ábra (lenn) illusztrálja. E gáz alakulásában 1998 és 2007 között törés volt megfigyelhető: a koncentráció ebben az időszakban alig emelkedett. A legutóbbi évtized újabb emelkedéséért már alighanem a permafrost területek olvadásával összefüggő metánhidrát kiszabadulás is okolható. Ha ez a folyamat felgyorsul, az tovább erősítheti a felmelegedést. A stagnálás utáni peridusban a koncentráció-növekedés egyelőre lassúbb, mint annak előtte.

Hőmérsékleti tendenciák

A globális átlaghőmérséklet alakulása a globális melegedési hiány (kb. 2002 – 2013) elmúltával ismét emelkedésnek indult (2. ábra, fenn).

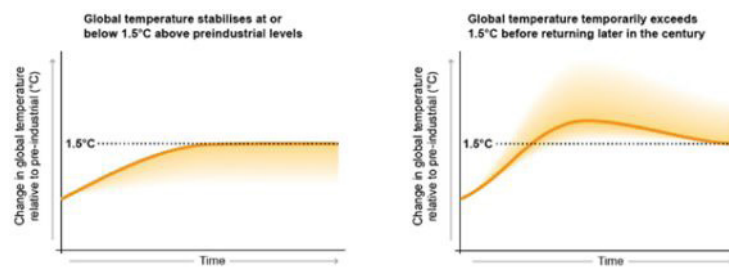
A 2016. év kiugró értékeihez minden bizonnyal a 2015 közepétől kialakult kb. egy évig tartó, erős El-Niño epizód is



3. ábra: A globális átlaghőmérséklet alakulása néhány idősor (kék, piros, sárga) illetve a CMIP-5 globális modell-futtatások (fekete) alapján. Az utolsó bő évtized tényleges melegedése tartósan a várt érték alatt maradt (Fyfe et al. 2016: Fig. 1.)

1. táblázat: Leglaposabb emelkedésű időszakok a különböző adatközpontok adatai szerint Az utolsó négy sor re-analízis alapú rekonstrukció (Xin-Gang Dai, Ping Wang 2018: Table 1.)

Hőmérsékleti időszak	Trend °C/évtized	Véletlen esélye	Stagnáló időszak
HadCRUT4	0.0076	0.8393	2001–2013
Cowtan & Way	0.0482	0.6602	2002–2012
NOAA-old	0.0010	0.9758	2001–2013
NOAA-new	0.0255	0.5626	2002–2012
GISTEMP	0.0200	0.7137	2002–2012
ERA-Interim	-0.0011	0.9885	2002–2012
NCEP-R2	0.0179	0.9271	2002–2014
ERA-Interim	-0.0001	0.9885	2002–2012
NCEP-R2	0.0082	0.9057	2002–2012



4. ábra: A 1.5 fokos globális melegedés elérése túllövés nélkül (balra) és túllövés után visszatérve (jobbra) (IPCC SR15: FAQ2.1 Fig. 1)

hozzájárult (2. ábra, fenn).

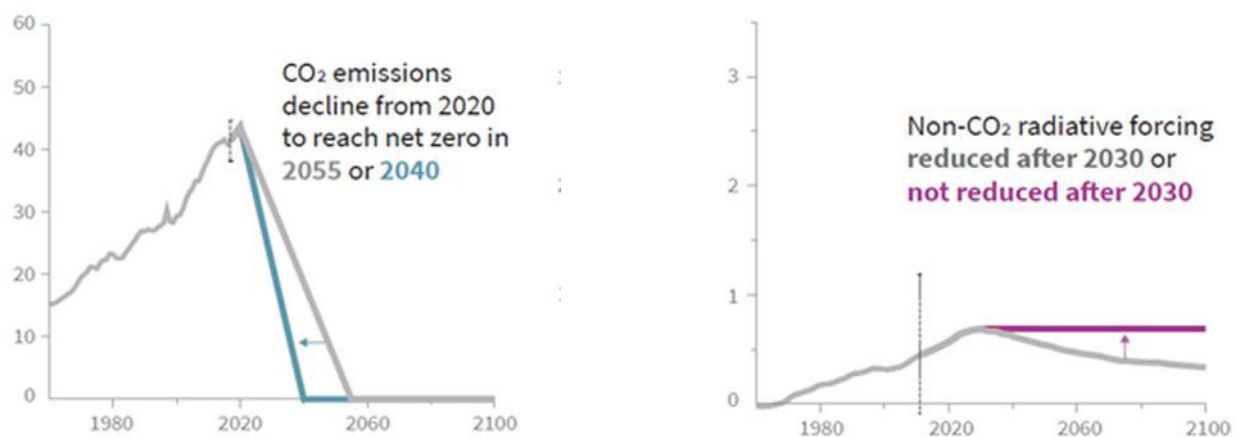
A globális melegedési hiány eltüntetésén többen fáradoztak. Karl et al. (2015) például azért módosította a meglevő sorokat, mert az óceánok fölött mérés technikai okokból nem az ottani levegő, hanem a víz hőmérsékletének eltéréseit veszik alapul egy rögzített referencia időszakhoz viszonyítva. Ezzel a kérdéses évek trendje egy kicsit megemelhető volt. Mindezek ellenére, a 3. ábrán látható, hogy a hőmérséklet bő tíz éven át egyértelműen a várt (modellezett) érték alatt alakult.

Az 1. táblázat bemutatja, hogy nagyszámú globális adatsor mindegyikében elhanyagolható, s a t-próba szerint nem is szignifikáns lineáris trendek mutathatók csupán ki. Az is lényeges, hogy a legkevesbé meredek trendek 2001 után alakultak ki, vagyis nincs köztük az 1998. évi erős El-Nino jelenséghez, amit követően a léghőmérséklet még visszahúlt a várt értékre.

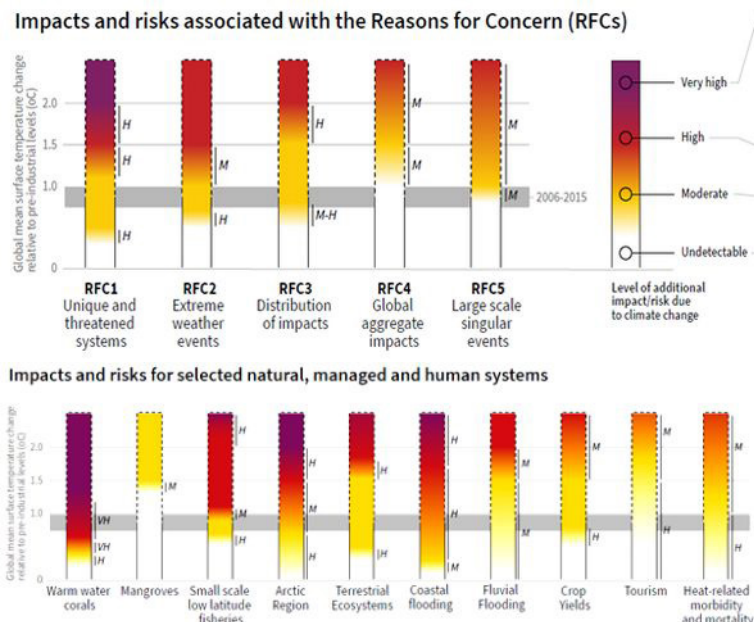
3. Az IPCC 1.5 fokos Tematikus jelentése

Ez év október elején látott napvilágot az IPCC újabb Tematikus Jelentése, amely ezúttal azt vizsgálta, hogy milyen lenne az éghajlat, ha sikerülne 1,5 Celsius foknál megállítani, vagy oda visszakormányozni a felmelegedést (4. ábra), illetve mit kellene a világnak ehhez tennie a kibocsátások csökkentése terén. Megjegyezzük, hogy a feladat nehézségét önmagában az a tény is illusztrálja, hogy az ipari forradalom kezdete óta már nagyjából 1 Celsius fokkal emelkedett a Föld átlaghőmérséklete.

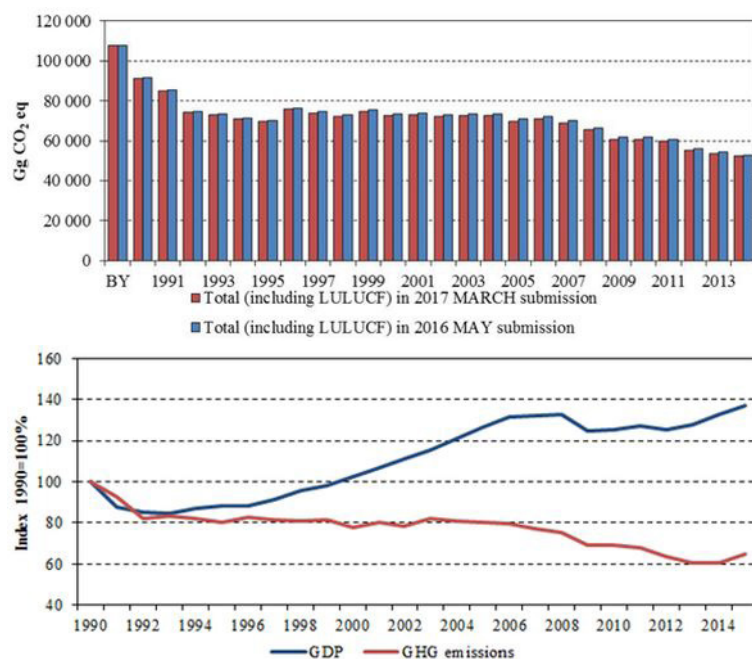
Mivel az óceánok és a bioszféra csak mintegy 30 %-át tudják elnyelni a mai szén-dioxid kibocsátásnak, s ez az érték is csökken, ha kisebbé válik a kibocsátás, a koncentrációk stabilizálódását biztonsággal csak a nettó kibocsátás csökkentése esetén remélhetjük. Ennek szigorúbb és enyhébb változatát tárja elénk az 5. ábra bal oldala. Alig több mint 20 év enyhébb változatban 35 év múlva el kellene érnie ezt zéró kibocsátást.



5. ábra: Az évi globális CO₂ kibocsátás eddigi alakulása (GtCO₂/év) és a nulla kibocsátás 2055-re illetve 2040-re történő eléréséhez szükséges radikális csökkentés (balra), továbbá a CO₂-tól különböző üvegházgázok okozta együttes sugárzási kényszer (Wm-2), 2030 utáni redukcióval és redukció nélkül. Minden változat alkalmas a 1,5 Celsius fokon stabilizálásra. (IPCC SR15: SPM Fig. 1.b, 1.d)



6. ábra: A globális felmelegedés 1.5 fokon tartását indokoló néhány változás veszélyessége a globális átlaghőmérséklet alakulásának függvényében. Felül, balról jobbra haladva az öt legnagyobb ok az aggodalomra (RFC: reason for concern) az egyedi fenyegetett rendszerek, az extrém időjárási események, a hatások térbeli megoszlása, globális halmozott hatások és a nagytérű szinguláris események. Alul, ugyanígy haladva, a korallak, a mangrove erdők, a trópusi kisléptékű halászat, az arktikus régió, a szárazföldi ökoszisztémák, a tengerpartok elöntése, a folyami árvizek, a növények termése, a turizmus és a hőhóbort miatti betegség és halálozás (IPCC SR15: SPM Fig. 2)



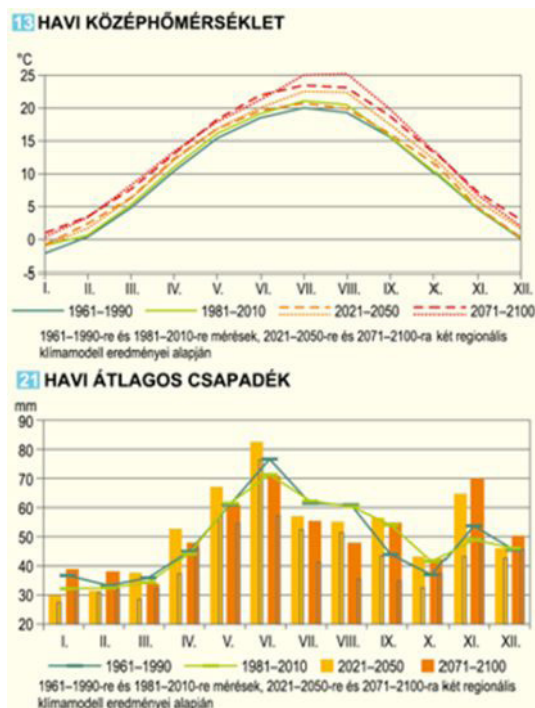
7. ábra: (Fenn) A növényzettel összefüggő kibocsátást is figyelembe vevő üvegház-gáz kibocsátás CO₂ egyenértékben (Lenn) A nemzeti össztermék (GDP) és az üvegházgáz (GHG) kibocsátás szétválása Magyarországon 1990 és 2015 között, a nyitó évet 100%-nak véve. (7th National Communication, Hungary 2017: Fig. 3.1 és 3.2)

A szén-dioxidtól különböző üvegházgázok esetében is ilyen drasztikus visszanyesésre számítanak a forgatókönyvek: 2030 után már nem nőhet e gázok együttes sugárzásmódosító hatása, sőt az optimistább változat 2030 után az e gázok hatásának csökkenésével számol.

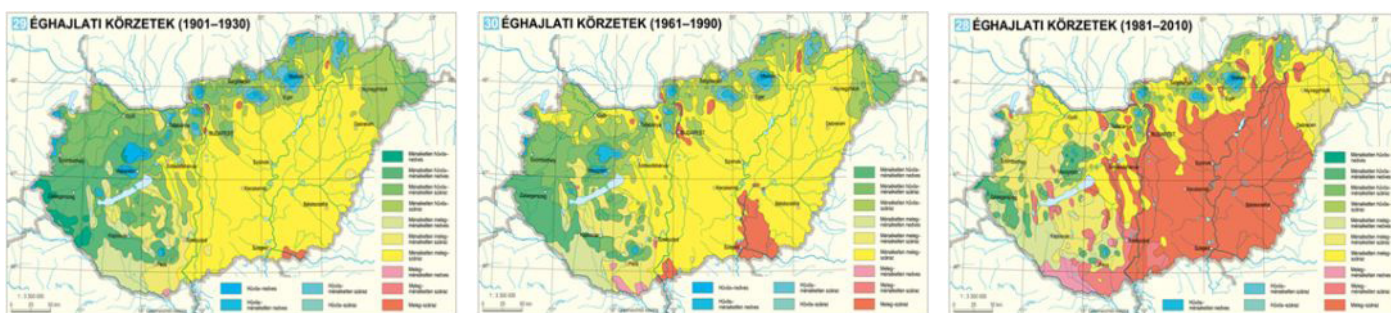
Természetesen, ilyen erőteljes kibocsátás csökkentésre legfeljebb akkor van esély, ha jól kidolgozott az is, hogy miért érdemes mindezt megtenni, azaz mennyivel veszélyesebb a nagyobb, kár csak 2 Celsius fokos melegedés a megcélzott 1,5 foknál. Ilyen érvelést tartalmaz a 6. ábra, amelynek felső elemében öt aggodalomra okot adó változás-típus látható. Fehérrel az alig érzékelhető változások láthatók a globális átlaghőmérséklet függvényében, majd a sárga, a piros és a lila jelzi az egyre nagyobb aggodalmat keltő változásokat.

A 6. ábra alsó eleme tíz nagy kiterjedésű, részleges hatásra adja meg ugyanezt a szín-skálát. Látható, hogy a meleg tengerek korallzátonyainak élőlényei már most nagy veszélyben vannak. Az északi sarkvidék már 1,5 foknál nagy veszélybe kerül, de további néhány felsorolt hatás is nagyon sérülékenyé válik már nem sokkal a mai felmelegedés után. Ha 2 °C fölé kerülünk, csak a mangrove erdők veszélyeztetettsége nem éri el a magas mértéket.

A következőkben, végül rátérünk a hazai újdonságokra.



8. ábra: A két-két múltbeli megfigyelés, illetve regionális modell-projekció szerinti, 30-30 éves átlagok alakulása országos átlagban, az év hónapjaiban. Felül a hőmérséklet, alul a csapadék havi átlagai illetve összegei láthatók (Magyarország Nemzeti Atlasza, 2018: 13 és 21 ábra)



9. ábra: A Péczeley féle éghajlati osztályozás egyes típusainak előfordulása Magyarországon a térképeken látható 30 éves időszakok mérései lapján. (Magyarország Nemzeti Atlasza, 2018: 28-30 ábra)

4. Magyarországi eredmények

A hazai üvegházgáz kibocsátás alakulása

Elsőként az ENSZ-nek benyújtott, 7. Nemzeti Jelentés (7th National Communication 2017) anyagából emelem ki a kibocsátás alakulását (7. ábra). Látható, hogy némi hullámlás mellett egyértelműen csökkent a kibocsátás az 1990-es évek óta. Az ábrán a LULUCF (land use, land use change and forestry) a földhasználattal összefüggő kibocsátást (esetleg nettó elnyelést) okozó tényezők összefoglaló neve.

A 7. ábra alsó felén azt is látjuk, hogy a kibocsátás csökkenése úgy ment végbe, hogy eközben a gazdaság bővült, fejlődött. Annak az elvárásnak a sérülését, hogy ti. a gazdasági fejlődéssel romlania kell a környezetnek, amit tehát az üvegház-gázok is demonstrálnak, szétkapcsolásnak (de-coupling) nevezzük.

Megfigyelt és modellezett változások

Végül, Magyarország Nemzeti Atlasza (2018) ábrái közül mutatunk néhányat. Az első páros sajátossága, hogy nemcsak 100 hőmérsékleti és 400 csapadékmérő állomás adatait tartalmazzák, de két hazai futtatású regionális klímamodell eredményeit is. A 8. ábrán fenn a hőmérséklet, lenn a csapadék havi értékeit láthatjuk. A hőmérséklet esetében egyértelmű a felmelegedés minden hónapban, viszont a csapadék esetében minden hónap más-más viselkedésű, legyen szó megfigyelt 30-30 évről, vagy éppen két jövőbeli időszakról.

E pont és a teljes írás végén a megfigyelt változásokat talán legszebben, legérzékletesebben a hazánk éghajlati körzeteiben detektált változások illusztrálják (9. ábra).

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány megszületését támogatta a NKFIH K 116595 projektje.

5. Irodalomjegyzék

- 7th National Communication (2017): Hungary's Seventh National Communication and Third Biennial Report Ministry of National Development. 237 p.
- EEA (2017): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. European Environment Agency, 419 pp.
- Fyfe, J.C.; Meehl, G.A.; England, M.H.; Mann, M.E.; Santer, B.D.; Flato, G.M.; Hawkins, E.; Gillett, N.P.; Xie, Sh.-P.; Kosaka, Y.; Swart, N.C. (2016): Making sense of the early-2000s warming slowdown. *Nature Climate Change*. 6: 224–228. doi:10.1038/nclimate29
- IPCC SR15 (2018) Global Warming of 1.5 °C an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC Special Report October 6 2018, Geneva 1159 p.
- Karl, Th.R.; Arguez, A.; Huang, B.; Lawrimore, J.H.; McMahon, J.R.; Menne, M.J.; Peterson, Th.C.; Vose, R.S.; Zhang, H-M. (2015): Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus. *Science*. 348 (6242): 1469–1472. doi:10.1126/science.aaa5632
- Magyarország Nemzeti Atlasza (2018): Kocsis K. (főszerk.) Magyarország Nemzeti Atlasza: 2. Természeti Környezet. MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földrajztudományi Intézet, Budapest
- KSH (2017): A fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon, 2016. KSH, 235 o. (www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/fenntartfejl/fenntartfejl16.pdf)
- Le Quéré, C. et al., plus 76 co-authors, (2017): Global Carbon Budget 2017, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, (<https://doi.org/10.5194/essd-2017-123>, in review, 2017)
- Mika J. (2018): Az energiahasználat és a klímaváltozás nemzetközi és hazai aktualitásai. In: *Környezet és energia. Hatékony termelés, tudatos felhasználás* (szerk. Lázár István) 19-24
- US EIA, 2017: International Energy Outlook 2017. U.S. Energy Information Administration, Washington DC, 1-152 pp. (<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>)
- USGCRP: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., plus 5 co-eds.]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 2017, 470 pp. <https://science2017.globalchange.gov/>
- Xin-Gang Dai, Ping Wang (2018): Identifying the early 2000s hiatus associated with internal climate variability. *Nature Scientific Reports* volume 8, Article number: 13602 (2018) <http://www.climate4you.com/>)